

**VERIFIED TRANSLATION OF GERMAN LANGUAGE PATENT APPLICATION**

I, the below-named translator, hereby declare that:

My name and post office address are as stated below;

That I am knowledgeable in the English and German languages;

That a copy of a German language patent application "Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung" (20496-309 /100 09 250.0) is enclosed;

That attached to the copy of the German patent application is a true and accurate English translation thereof that I have prepared.

I further declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and may jeopardize the validity of the patent granted on basis of this application.

Date : October 14, 2004

Full name of the translator: JACQUES BENBASSAT

Signature of the translator: 

Post Office Address: 402 Ladbroke Road, Greenville, SC 29615





100 09 250 .0 / 20496-309

Federal Republic of Germany

**Priority Certification on the Submission of a Patent Application**

File Number: 100 09 250.0

Application date: February 28, 2000

Application owner: VAW aluminium AG, 53117 Bonn/Germany

Designation: Surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component,  
process and device for its manufacture

IPC: C 23 C 24/10

The attached documents are a true and exact rendition of the original documents of this patent application.

Munich, October 12, 2004  
German Patent and Trademark Office  
The President  
Per pro: signed Schmidt C.

Surface-alloyed cylindrical or partially cylindrical component, process and device for its manufacture

## Description

The invention relates to a surface-alloyed cylindrical or partially cylindrical component, consisting of an aluminum matrix cast alloy and of a precipitation zone of an alloy on aluminum basis with eliminated hard phases as well as to a process and a device for its manufacture.

WO 97/10067 discloses a process for the coating of metallic work pieces in which a metal-containing powder is melted by a laser beam and is then applied to the surface of the metallic work piece. According to claim 1 of the WO patent the powder is to be conveyed into the melting zone coaxially to the laser beam and is to be distributed in form of 0.1 to 1 mm wide tracks over a large surface.

In order to carry out the known process, a device for the coaxial feeding of powder is installed on a laser beam focusing head according to a preferred embodiment of WO 97/10067, so that the work piece and the laser beam focusing head can be moved in three-axial direction relative to each other. The mobility is however possible only to a limited degree because of the necessary automatic control.

For a coating installation that can be used in high-tech production, gauges of 0.1 to 1 mm are uneconomical and devices that can be moved along three axes are too expensive.

Furthermore it is not possible to coat slightly larger surfaces such as e.g. interior running surfaces of cylinder walls by means of the known device.

Another process for the coating of interior running surfaces of cylinder walls is known from DE-OS 198 17 091. According to claim 1 of the publicly distributed printed copy of the application papers, wear-resistant surfaces are produced on the interior piston running surfaces of light-metal engine blocks by using a probe for the continuous feeding of silicon powder in which an energy beam is moved relatively to the light-metal block held in place, with an irradiation spot wandering helicoidally over the surface. With a laser light capacity of approximately 2 kW and an irradiation spot diameter of approximately 0.5 to 2 mm, approximately 10g of powder is applied to the surface per minute and is alloyed into it. As a result a 20 to 50% portion of hard material can be alloyed into the surface for a penetration depth of approximately 1 mm.

Tests were furthermore conducted for the development of a process for the production of a light-metal cylinder block in which a laser beam with a strip width of 2 mm is moved at a perpendicular to the direction of advance over the light-metal matrix surface which is held in place. In this process the powder is heated to melting temperature only at the point where the laser beam meets the light-metal matrix surface, and is then diffused into the surface. In the alloying zone primary silicon is formed, whereby a preferred average layer thickness of 150 to 650  $\mu$  in the matrix alloy is indicated. The laser light capacity is preferably 3 to 4 kW, whereby linear focusing system can also be used.

The structure obtainable by the above-mentioned process consists of a light-metal matrix alloy with a surface layer containing a finely dispersed, primary silicon precipitation with round grains with an average grain diameter between 1 and 10  $\mu\text{m}$ . In addition to the pure aluminum phase, the surface layer also contains 10 to 14% AlSi-eutectic and 5 to 20% primary silicon, whereby the minimum hardness is approximately 160 HV.

For certain applications components that are insensitive to thermal shock are required. This could be achieved with the known manufacturing processes in the past only by means of very expensive treatments. A slow increase in hardening from the matrix u to the surface layer is characteristic for such components resistant to high stress, whereby the overall increase in hardness should reach 200% of the original hardness of the matrix alloy.

It is the object of the present invention to develop an economic surface treatment process applicable on an industrial production scale for cylindrical or partially cylindrical surface forms by means of which a tribologically optimized, heat-treatable hollow cylinder blank with new structural characteristics and material changes close to the surface can be produced. The new structural characteristics and material changes close to the surface are intended in particular to make a utilization of the cast blank in the area of oscillation-subjected components such as e.g. wear surfaces of brake elements, sliding and friction surfaces of all kinds possible.

This object is attained according to the invention by means of the characteristics indicated in the claims. It has been shown that a component with the desired characteristics can be produced by a combination of

- a) linear focus with line widths over 4 mm perpendicular to the direction of advance,
- b) high-energy beam with a wavelength comprised between 780 and 940 nm and a
- c) powder addition in the cradle layer in combination with a specific energy supply of 5000 – 500,000 W/cm<sup>2</sup>.
- d) The cooling speed of 200 – 600 k/sec contributes to the controlled Si distribution and to the formation of primary silicon crystals with phase diameters up to 80 µm in the eutectically solidifying residual molten mass.

In a preferred embodiment of the invention several energy emitting units can be utilized as additional parameters for the control of the structural characteristics by means of cooling speeds that are changeable in space.

Thereby spatially different surface hardness can be set making a purely mechanical further treatment possible. When the surface hardness exceeds 160 HV, it is possible to polish with diamond materials without forming striations and without smudging. In a further machining phase the primary silicon crystals or other hard materials of less than 1 µm can be exposed at the surface by purely mechanical means.

In a preferred embodiment the line focus is directed upon the surface to be alloyed in a double track, one after the other (in relation to the direction of advance), so that a partial heat treatment (hardening, re-crystallization, prolongation of the precipitation time and especially the produced layer thickness with primary precipitations) becomes possible.

In another preferred application the powder components can also be applied in a double track, so that here different combinations and application rates are possible, e.g. the build-up of graded-index materials with controlled alloy formation.

To start up and shut off the coating device, an adjustable shutter is preferably used, serving to lengthen or shorten the line focus width as seen in direction of advance.

Contrary to the known coating device according to DE 198 17 091 A1 (NU TECH/VAW Motor GmbH) work is performed with a single-axis, movable energy beaming device and with a multi-axis movable component. It is especially advantageous hereby that the rotational speed of the work piece can be changed in order to obtain a coarse structure (through slow rotation) or a small-cell or refined structure (through faster rotation) with identical energy expenditure.

As mentioned earlier, a double track can be used to alloy different alloy models into an application coating. The powder can be applied in a single step (one powder jet) or in multiple steps (several powder jets) through suitably formed powder jet slits upon the work piece surface. The line focus width is at least 4 mm, preferably 5 to 15 mm.

It is a particularity of the process according to the invention that variable depths of penetration, from 100 to 2500  $\mu\text{m}$  are possible by changing the speed of advance and/or by the energy supply in function of surface. In order to improve the connection, a diode laser with the wavelength range indicated in the claim is preferably used, making it excellent heat application into the depth of the component possible in combination with a previously applied hard-material powder.

The invention is explained in further detail below through two examples of embodiments using silicon as the hard-material powder.

Fig. 1 shows a cross-section through a surface-alloyed component formed with three zones;

Fig. 2 shows the hardness as it evolves along the coordinate Y in Fig. 1 and

Fig. 3 is a diagram to explain the manufacturing process according to the invention.

Fig. 1 shows a detail of a component produced according to the invention, with an aluminum matrix 1, a transitional zone 2 and a precipitation zone 3. In the precipitation zone 3, many fine hard-material particles lead to an especially hard surface with  $\text{HV} > 250$ . The component surface 4 may for example constitute a running surface for pistons,



shafts or bearing parts and has been brought to an operational state by purely mechanical treatment.

The transitional zone 2 contains a homogenous, oversaturated aluminum-silicon structure showing a uniformly grey coloration. The heat influence of the energy beam directed upon the surface reaches up to here and produces a melted front.

The heat introduced into the component during surface alloying is removed via the matrix

1. The heat balance can be influenced by the speed of advance, by energy control and by cooling measures.

Fig. 2 shows the evolution of hardness of a component manufactured in accordance with the invention in the area of the component surface. Hardness starts in the present case at 100 HV in the matrix and increases in steps to the maximum value of 240 HV. This evolution of hardness results in improved thermal shock resistance. A harder phase range of Si-alloyed primary silicon is cushioned on a more elastic, softer matrix alloy.

The process according to the invention for the manufacture of a surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component consists in first directing an energy beam with a linear beam surface (also called line focus) on a work piece surface. Thereby the work piece surface is melted and a hard-material or alloying powder is introduced into the molten surface.

As shown in Fig. 3, zone 21 and a solidification front 22.

Laterally to the energy beam 23, a powder mass 24 is applied to the surface of the component 26 in the direction of gravity. The quantity of the powder 24 is coordinated with the advance movement 27 of the work piece or component 26, whereby the powder jet width perpendicular to the image plane of Fig. 3 is approximately equal in width to the energy beam 23 (also measured at a perpendicular to the image plane).

It can be seen in Fig. 3 how the powder mass conveyed to the work piece surface is melted in the heating front and is plunged into the molten-material bath. Tests have shown that with a wavelength of 780 to 940 nm, the energy beam connects optimally, so that the powder is heated and is diffused rapidly with the liquefied matrix alloy into the molten-material bath.

As the arrows 28 in Fig. 3 indicate, convection occurs in the solution zone so that the homogenization process in the melting zone is accelerated. This is made possible by the energy beam with a specific capacity of at least  $10^5 \text{ w/cm}^2$ . It can be seen from metallographic sections that the hard-material or alloying powder is distributed evenly in the molten-material bath only if the line focus has acted on the solution zone for a sufficiently long time. The exact values can be found by testing.

The evenly distributed powder material is then subjected in the solidification zone 22 to a directed solidification in the solidification front at a cooling speed of 200 to 600 K/sec,

whereby the advance movement speed is between 500 and 5000 mm/min. In an advantageous variant of the process according to the invention the powder is conveyed in the gas stream to the component surface so that a certain amount of powder is able to penetrate into the melting zone as a result of kinetic energy.

Additional tests have shown that the energy beam is preferably divided before the impact zone, whereby a first partial beam is directed into the heating and melting zone and a second partial beam behind the solidification front for thermal structure treatment. The forming of the structure can be controlled in a targeted manner with this process.

Another structure control is possible in that the energy beam is directed intermittently with a capacity of  $< 1 \text{ Kw/cm}^2$  upon the work piece surface in the solidification front. It has been shown here that the influence time of the energy beam in the molten-material bath for the dissolution and homogenous distribution of the hard-material or intermetallic phases is from 0.02 to 1 second long.

The mentioned requirements are met by a diode laser of  $> 3 \text{ KW}$  with an adjustable line focus width. Herewith the energy beam's line focus width perpendicular to the direction of advance movement can be reduced before the beginning and at the end of a coating operation. In an analogous manner the powder mass can also be controlled so that in case of surface treatment only minimal overlap of added powder mass or applied energy was observed.

If the work piece is in form of a hollow cylinder it should preferably rotate around the energy beam in cradle position so that the energy beam which is maintained in place relative to the direction of rotation, executes a continuous advance movement in the direction of the axis of rotation during the rotation in order to produce a flat alloying zone.

To carry out the process, devices were developed that are suitable for the treatment of work pieces and components on a mass production basis. For this purpose the device consists of a work piece chucking device on which a work piece is aligned via index bores and/or via treatment surfaces and is chucked. Energy beam emitting devices are introduced in the direction of the cylinder axis to the treatment surface and are directed with a focusable radiating head and a powder feed upon the treatment surface. It has been shown to be especially advantageous that the energy beam can be introduced into the work piece and is located on the rotatable work piece chuck connected to a drive unit, whereby the energy beam in form of a line focus is directed at a right angle upon the work piece rotating in cradle position.

If several energy beam units, offset relative to each other, are directed upon the treatment surface of the work-piece rotating in cradle position, the energy beam unit should brush over the treatment surface in form of lines. This results in a flat alloyed zone that can be sized in function of the delimitation elements of the device and/or the rotational movement of the component.

The energy beam units advantageously brush over several lines of the treatment surface at the same time. Thereby the treatment times are shortened and the treated surfaces become uniform.

For a realization on a mass production scale an energy radiating device was developed that is installed fixedly relative to the work piece's direction of rotation within the rotatable work piece chucking device connected to a drive unit. The energy beam is directed at a right angle from the energy radiating head upon the work piece surface while the powder feeding device is located laterally next to the energy beam. The powder feed may be sharp or dragging, i.e., as seen in the direction of advance, it may be located before the energy beam or after the energy beam. It is also possible to blow the powder upon the surface facing the beam or to be strewn on it loosely in the direction of gravity.

The drive unit of the work piece should be able to produce variable rotational speeds for the production of helicoidal or other geometric movements of the line focus. The direction of advance movement of the energy radiating device and of the powder feeding device in the direction of rotation can be combined here with the rotational speed of the work piece.

It is possible to manufacture surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical components with the described process. They consist of an aluminum matrix cast alloy and a precipitations zone of an aluminum base alloy with precipitated hard phases reaching up to the component surface. A eutectic zone (oversaturation zone) that is

oversaturated by primary hard phases is located between the matrix and the precipitation zone, whereby the increase in hardness from matrix to component surface takes place in steps. It is possible to achieve especially favorable conditions if the matrix alloy of the type AlSiCu is less than eutectic and if an alloy of the AlSi type with finely precipitated primary silicon phases smaller than  $1\text{ }\mu$  are present in the oversaturated, eutectic transitional zone while primary silicon phases of 2 to  $20\text{ }\mu$  are present in the precipitation zone. In that case hardness increases up to the component surface of at least 200% can be reached.

The layer thickness ratio between precipitation zone and transitional zone in a component according to the invention is over 2 : 1, measured from the surface of the component in direction of the aluminum matrix. In this case hardness increases between the matrix and the component surface in the range of 1 : 1.5 : 2 to 1 : 2 : 3 can be reached.

Surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component, process and device for its  
manufacture

---

List of reference numbers

- 1 Aluminum matrix
- 2 Transitional zone
- 3 Précipitation zone
- 4 Component surface
- 5 – 19 -
- 20 Melting front
- 21 Dissolution or remelt zone
- 22 Solidification front
- 23 Energy beam
- 24 Powder mass, powder
- 25 -
- 26 Component
- 27 Advance movement
- 28 Arrows

### Claims

1. Surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component, consisting of an aluminum matrix cast alloy and a precipitation zone of an aluminum base alloy with precipitated hard phases reaching up to the component surface,  
characterized in that  
an eutectic zone oversaturated by primary hard phases (hereinafter: transitional zone) is present between the matrix and the precipitation zone and in that the hardness increase from matrix to component surface takes place in steps.
2. Component as in claim 1,  
characterized in that  
the matrix alloy of AlSiCu type is sub-eutectic and an alloy of the AlSi type with fine precipitated primary silicon phases  $< 1 \mu$  is present in the oversaturated eutectic transition zone while primary silicon phases of  $2 - 20 \mu$  are present in the precipitation zone, whereby the hardness increase up to the component surface is at least 200%.
3. Component as in one of the preceding claims,  
characterized in that  
the layer thickness ratio measured from the surface of the component in direction of the aluminum matrix between precipitation zone and transitional zone is greater than 2:1.



4. Component as in one of the preceding claims,

characterized in that

the hardness increase between the matrix and the component surface takes place in steps, whereby the hardness increase in the matrix, in the transitional zone and in the precipitation zone is as 1 : 1.5 : 2 to 1 : 2 : 3 and the final hardness at the component surface is over 200 HV.

5. Process for the manufacture of a surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component, whereby an energy beam with a linear beam surface, hereinafter the line focus, is directed upon a work piece surface, thereby causing the work piece surface to be melted and in that a hard-material or an alloying powder is introduced into the molten surface,

characterized in that

a) in the impact zone of the energy beam a locally delimited molten-material bath with a heating and melting front, a dissolution zone and a solidification front is produced,

b) laterally next to the energy beam a Si powder mass or hard-metal powder mass is applied in the direction of gravity and is moved in coordination with the advance movement of the work piece in a width that is equal to the width of the line focus,

c) the Si powder mass applied to the work piece surface is heated in the heating front of the molten-material bath by means of an energy beam having a

wavelength of 780 to 940 nm and the powder mass immediately diffused into the molten-material bath in contact with the liquefied matrix alloy,

d) the energy beam having a specific capacity of at least  $10^5 \text{ W/cm}^2$  produces a convection in the dissolution zone so that the homogenization process in the melting zone is accelerated,

e) whereby the line focus acts upon the dissolution zone until the hard-material or alloying powder is distributed evenly in the molten-material bath,

f) the evenly distributed powder material which has dissolved metallurgically is subjected to controlled solidification in the solidification front at a high cooling speed of 200 – 600 K/sec and at an advance movement speed of 500 – 5000 mm/min.

6. Process as in claim 5,

characterized in that

the hard-material or powder masses added in process step b) are conveyed in a gas stream to the component surface.

7. Process as in one of the preceding claims,

characterized in that

the energy beam is divided before the impact zone, whereby a first partial beam is directed into the heating zone and melting zone and a second partial stream behind the solidification front for thermal structure treatment.

8. Process as in one of the preceding claims,  
characterized in that  
the energy beam in the solidification front is directed intermittently with a specific capacity of  $< 1 \text{ KW/cm}^2$  upon the work piece surface
9. Process as in one of the preceding claims,  
characterized in that  
the influence time of the energy beam in the molten-material bath for the dissolution and homogenous distribution of the hard-material or intermetallic phases is from 0.02 and 1 second.
10. Process as in one of the preceding claims,  
characterized in that  
a diode laser of  $> 3 \text{ KW}$  with an adjustable line focus width is used as the energy beam.
11. Process as in one of the preceding claims,  
characterized in that  
before the start and at the end of a coating operation, the energy beam and the powder mass is reduced in the line focus width at a perpendicular to the direction of advance movement.
12. Process as in one of the preceding claims,

characterized in that

the work piece is in form of a hollow cylinder and rotates around the energy beam in cradle position during the coating operation, whereby the energy beam which is maintained in place relative to the direction of rotation executes a continuous advance movement during the rotation in direction of the axis of reotation in order to produce a flat alloying zone.

13. Process as in one of the preceding claims,

characterized in that

the energy beam is point shaped at the beginning of alloying and expands continuously together with the powder mass until it has reached the full line focus width after one revolution of the work piece.

14. Process as in one of the preceding claims,

characterized in that

the line focus width and the powder mass are continuously reduced to zero upon completion of the alloying operation during the last rotation of the work piece.

15. Device to carry out the process, consisting of a work piece chucking device on which a work piece is chucked via index bores and/or via treatment surfaces, on which a focusable radiating head and powder supply are directed,

characterized

by an energy radiating device introduced in the sense fo the cylinder axis and installed on the rotatable work piece chucking device connected to a drive unit, whereby the energy beam in form of a line focus is directed at a right angle upon the work piece rotating in cradle position.

16. Device as in claim 15

characterized in that

several energy radiating unit are offset relative to each other and are directed upon the treatment surface of the work piece rotating in cradle position, whereby the energy radiating units brush over the treatment surface in lines.

17. Device as in one of the preceding claims,

characterized in that

the energy radiating units brush over several lines of the treatment surface simultaneously.

18. Device as in claim 15,

characterized in that

the energy radiating device is maintained in place relative to the direction of rotation inside the rotatable work piece chucking device connected to a drive unit, whereby the energy beam is directed from the energy radiating head at a right angle upon the work piece surface, in that the powder supply device is located

laterally next to the energy radiating device and in that a sharp or dragging powder supply is provided.

19. Device as in one of the preceding claims,

characterized in that

the powder is either blown or loosely strewn in the direction of gravity on the surface facing the beam.

20. Device as in claim 18,

characterized in that

the drive unit makes it possible for the work piece to rotate at variable rotational speed, whereby the advance movement direction of the energy radiating device and of the powder supply in direction of rotation axis is combined with the rotational speed of the work piece in order to achieve a helicoidal or other geometric movement of the line focus upon the work piece surface.

Surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component, process and device for its  
manufacture

---

Abstract of the Invention

A surface-alloyed, cylindrical or partially cylindrical component consists of an aluminum matrix cast alloy and a precipitation zone reaching up to the surface of the component of an aluminum-based alloy with precipitated hard phases. A eutectic zone oversaturated by primary hard phases is located between the matrix and the precipitation zone, whereby the hardness increase from matrix to component surface takes place in steps. To produce a component of this kind an energy beam with a linear irradiation surface is directed upon a work piece surface, the work piece surface is melted and a hard-material or alloying powder is conveyed to the molten surface, whereby a locally delimited molten-material bath with a heating and melting front, a dissolution zone and a solidification front is produced in the impact zone of the energy beam, a mass of Si powder or hard-material powder is applied in the direction of gravity laterally of the energy beam and is coordinated with the advance movement of the work piece, the width of this application corresponding to the width of the line focus, the mass of Si powder conveyed to the work piece surface is heated in the heating front of the molten-material bath by means of an energy beam with a wavelength of 780 – 940 nm and the powder mass is immediately diffused into the molten-material bath in contact with the liquefied matrix alloy, and the energy beam having a specific capacity of at least  $10^5 \text{W/cm}^2$  produces a convection in the

dissolution zone so that the homogenization process in the melting zone is accelerated, whereby the line focus acts upon the dissolution zone until the hard-material or alloying powder is distributed evenly in the molten-material bath, the evenly distributed powder material which has dissolved metallurgically is subjected to a controlled solidification in the solidification front at a high cooling speed of 200 to 600 K/sec at an advance movement speed of 500 - 5000 mm/min.





+49 89 21952650

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 100 09 250.0

**Anmeldetag:** 28. Februar 2000

**Anmelder/Inhaber:** VAW aluminium AG, 53117 Bonn/DE

**Bezeichnung:** Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

**IPC:** C 23 C 24/10

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 12. Oktober 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

A 9161  
03/00  
EDV-L

**Schmidt C.**

EMPFANGSZEIT 13. OKT. 7:28

AUSDRUCKSZEIT 13. OKT. 7:29

---

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches  
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

---

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, bestehend aus einer Aluminium-matrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen sowie ein Verfahren und eine Vorrichtung zu seiner Herstellung.

Aus der WO 97/10067 ist ein Verfahren zur Beschichtung metallischer Werkstücke bekannt, bei dem metallhaltiges Pulver mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen und dann auf die Oberfläche des metallischen Werkstücks aufgetragen wird. Gemäß Patentanspruch 1 der WO-Schrift soll das Pulver coaxial zu dem Laserstrahl in den Schmelzebereich geführt werden und in Form von 0,1 bis 1 mm breiten Spuren über eine größere Fläche verteilt werden.

Zur Durchführung des bekannten Verfahrens ist gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der WO 97/10067 eine Vorrichtung zur Pulverzuführung coaxial an einem Laserstrahl-Fokussierkopf angeordnet, so daß das Werkstück und der Laserstrahl-Fokussierkopf relativ zueinander in dreiachsiger Richtung verfahrbar sind. Die Verfahrbarkeit ist jedoch wegen der erforderlichen Regeltechnik nur eingeschränkt möglich.

Für eine großtechnisch einsetzbare Beschichtungsanlage sind Spurbreiten von 0,1 bis 1 mm unwirtschaftlich und dreiachsig

bewegliche Vorrichtungen zu aufwendig. Außerdem können mit der bekannten Vorrichtung nicht unmittelbar größere Flächen, wie z.B. Innenlaufflächen von Zylinderwandungen, beschichtet werden.

Ein weiteres Verfahren zur Beschichtung von Innenlaufflächen von Zylinderwandungen ist aus der DE-OS 198 17 091 bekannt. Gemäß Patentanspruch 1 der Offenlegungsschrift werden verschleißbeständige Oberflächen auf den Innenkolbenlaufflächen von Leichtmetallmotorblöcken dadurch erzeugt, daß eine Sonde für die kontinuierliche Zuführung von Siliziumpulver verwendet wird, in der ein Energiestrahle mit einem spiralförmig über die Oberfläche wandernden Strahlfleck relativ zum ortsfest gehaltenen Leichtmetallmotorblock bewegt wird. Bei einer Laserlichtleistung von ca. 2 kW und einem Strahlfleck-Durchmesser von ca. 0,5 bis 2 mm wird ca. 10 g Pulver pro Minute auf die Oberfläche gebracht und einlegiert. Dadurch kann bei einer Eindringtiefe von ca. 1 mm ein Hartstoffanteil von 20 bis 50 % in die Oberfläche einlegiert werden.

Es wurden ferner Versuche zur Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung eines Leichtmetallzylinderblocks durchgeführt, bei denen ein Laserstrahl mit einer Streifenbreite quer zur Vorschubrichtung von mindestens 2 mm über die ortsfest gehaltene Leichtmetallmatrixoberfläche geführt wird. Das Pulver wird dabei erst im Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die Leichtmetallmatrixoberfläche auf Schmelztemperatur aufgeheizt und dann eindiffundiert. In der Auflegierungszone wird Primärsilizium gebildet, wobei eine mittlere Schichtdicke von 150 bis 650 µm in der Matrixlegierung als bevorzugt angegeben ist. Die Laserlichtleistung beträgt vorzugsweise 3 bis 4 kW, wobei auch linienförmige Fokussiersysteme eingesetzt werden können.

Das mit dem obengenannten Verfahren erzielbare Gefüge besteht aus einer Leichtmetallmatrixlegierung mit einer feindispersen, Primärsiliziumausscheidungen enthaltene Oberflächenschicht, die rundlich geformte Körner mit einem mittleren Korndurchmesser

zwischen 1 und 10  $\mu\text{m}$  aufweist. Neben der reinen Aluminiumphase enthält die Oberflächenschicht noch 10 bis 14 % AlSi-Eutektikum und 5 bis 20 % Primärsilizium, wobei die Mindesthärte ca. 160 HV beträgt.

Für bestimmte Einsatzzwecke werden Thermoschock-unempfindliche Bauteile verlangt. Dies läßt sich mit bisher bekannten Herstellungsverfahren nur durch sehr aufwendige Behandlungsmaßnahmen erreichen. Kennzeichnend für derartige hochbelastbare Bauteile ist ein langsamer Härteanstieg aus der Matrix bis in die Oberflächenschicht, wobei der Gesamthärteanstieg über einen Bereich von 200 % bezogen auf die Ausgangshärte der Matrixlegierung reichen sollte.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein wirtschaftliches, großtechnisch anwendbares Oberflächenbehandlungsverfahrens für zylindrische oder teilzylindrische Oberflächenformen zu entwickeln, mit dem ein tribologisch optimierter, wärmebehandelbarer Hohlzylinderrohling mit neuen Gefügeeigenschaften und oberflächennahen Werkstoffveränderungen herstellbar ist. Die neuen Gefügeeigenschaften und oberflächennahen Werkstoffveränderungen sollen insbesondere eine Anwendung des Gußrohlinges im Bereich von schwingungsbelasteten Bauteilen, wie z.B. Verschleißflächen von Bremssteilen, Gleit- und Reibflächen aller Art, ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst. Es hat sich gezeigt, daß ein Bauteil mit den gewünschten Eigenschaften durch eine Kombination von

- a) Linienfokus mit Linienbreiten quer zur Vorschubrichtung von größer 4 mm,
- b) Hochenergiestrahl mit einer Wellenlänge zwischen 780 und 940 nm und eine
- c) Pulverzugabe in der Wannenlage verbunden mit einer spezifischen Energieeinbringung von 5000 - 500000 W/cm<sup>2</sup> herstellbar ist.

Zur gesteuerten Si-Kornverteilung und Ausbildung von Siliziumprimärkristallen bei Phasendurchmessern von bis zu 80  $\mu\text{m}$  in der eutektisch erstarrenden Restschmelze trägt

d) die Abkühlungsgeschwindigkeit 200 - 600 K/sec bei.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können mehrere Energiestrahleinheiten als weitere Parameter zur Steuerung der Gefügeeigenschaften durch räumlich veränderbare Abkühlungsgeschwindigkeiten genutzt werden.

Dadurch sind räumlich unterschiedliche Oberflächenhärten einstellbar, die eine rein mechanische Weiterbearbeitung ermöglichen. Wenn die Oberflächenhärte größer 160 HV wird, kann mit Diamantwerkstoff ohne Riefenbildung und ohne Verschmieren gehohnt werden. Dabei können in einem weiteren Bearbeitungsgang rein mechanisch die Siliziumprimärkristalle oder andere Hartstoffe mit  $< 1 \mu\text{m}$  an der Oberfläche freigelegt werden.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel soll der Linienfokus in Doppelspur hintereinander (bezogen auf die Vorschubrichtung) auf die zu legierende Oberfläche gerichtet werden, so daß eine partielle Wärmebehandlung (Härtung, Rekristallisation, Verlängerung der Ausscheidungszeit und insbesondere die erzeugte Schichtdicke mit Primärausscheidungen) möglich wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Anwendungsfall kann auch die Pulverkomponente in einer Doppelspur aufgetragen werden, so daß hier unterschiedliche Zusammensetzungen und Auftragsraten möglich sind, z.B. Aufbau von Gradientenwerkstoffen mit gesteuerter Legierungsbildung.

Für das Anfahren und Abschalten der Beschichtungseinrichtung wird in bevorzugter Weise eine regelbare Blende eingesetzt, die zur Verlängerung oder Verkürzung der Linienfokus-Breite in Vorschubrichtung gesehen dient.

Im Gegensatz zu der bekannten Beschichtungsvorrichtung gemäß DE 198 17 091 A1 (NU TECH/VAW motor GmbH) wird mit einer einachsigen beweglichen Energiestrahlvorrichtung und einem mehrachsigen beweglichen Bauteil gearbeitet. Hierbei ist es von besonderem Vorteil, daß die Drehgeschwindigkeit des Werkstückes veränderbar ist, um ein grobphasiges Gefüge (durch langsame Drehung) oder ein feinzelliges bzw. feinphasiges Gefüge (durch schnelleres Drehen) bei gleichem Energieeintrag zu verwirklichen.

Wie bereits erwähnt, kann eine Doppelspur zum Einlegieren verschiedener Legierungstypen in einer Auftragsbeschichtung verwendet werden. Das Pulver kann einstufig (ein Pulverstrahl) oder mehrstufig (mehrere Pulverstrahle) über entsprechend geformte Pulverschlitzdüsen auf die Werkstückoberfläche aufgebracht werden. Die Linienfokus-Breite beträgt mindestens 4 mm, vorzugsweise 5 bis 15 mm.

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß variable Eindringtiefen zwischen 100 - 2500  $\mu\text{m}$  durch Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit und/oder durch den flächenbezogenen Energieeintrag darstellbar sind. Zur verbesserten Einkoppelung wird vorzugsweise ein Diodenlaser mit dem im Anspruch angegebenen Wellenlängenbereich verwendet, der in Verbindung mit einem vorher aufgetragenen Hartstoffpulver eine hervorragende Wärmeeinbringung in die Tiefe des Bauteils ermöglicht.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen bei Verwendung von Silizium als Hartstoffpulver näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1      Querschnitt durch ein erfindungsgemäß mit drei Zonen ausgebildetes oberflächenlegiertes Bauteil;

Fig. 2      Härteverlauf entlang der Koordinate Y in Figur 1;

Fig. 3 Prinzipbild zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens.

Figur 1 zeigt ausschnittsweise ein erfindungsgemäß hergestelltes Bauteil mit einer Aluminiummatrix 1, einer Übergangszone 2 und einer Ausscheidungszone 3. In der Ausscheidungszone 3 führen viele feine Hartstoffpartikel zu einer besonders harten Oberfläche mit  $HV > 250$ . Die Bauteiloberfläche 4 kann beispielsweise eine Lauffläche für Kolben, Wellen oder Lagerteile bilden und ist durch rein mechanische Bearbeitung in einem betriebsfertigen Zustand gebracht worden.

In der Übergangszone 2 liegt ein homogenes, übersättigtes Aluminium-Silizium-Gußgefüge vor, das eine einheitliche Graufärbung zeigt. Bis hierhin reicht der Wärmeeinfluß des auf die Oberfläche gerichteten Energiestrahls und bildet eine Aufschmelzfront.

Über die Matrix 1 wird die während der Oberflächenlegierung in das Bauteil eingebrachte Wärme abgeführt. Die Wärmebilanz kann durch Vorschubgeschwindigkeiten, durch Energiesteuerung und durch Kühlungsmaßnahmen beeinflußt werden.

In Figur 2 ist der Härteverlauf eines erfindungsgemäß hergestellten Bauteiles im Bereich der Bauteiloberfläche dargestellt. Die Härte beginnt im vorliegenden Fall bei 100 HV in der Matrix und steigt stufenförmig auf den Maximalwert von 240 HV. Mit diesem Härteverlauf ist ein verbessertes Thermoschockverhalten verbunden.

Ein härterer Phasenbereich aus Si-legiertem Primärsilizium wird auf einer elastischeren, weicheren Matrixlegierung abgefedert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles besteht darin, daß zunächst ein Energiestrahls mit einer linienförmigen Strahlfläche (auch Linienfokus genannt) auf eine Werk

stückoberfläche gerichtet wird. Dabei wird die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt.

Wie Figur 3 zeigt, bildet sich in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront 20, einer Lösungszone bzw. Umschmelzzone 21 und eine Erstarrungsfront 22 aus.

Seitlich vom Energiestrahle 23 wird eine Pulvermenge 24 in Schwerkraftrichtung auf die Oberfläche des Bauteils 26 aufgebracht. Die Menge des Pulvers 24 wird mit der Vorschubbewegung 27 des Werkstücks oder Bauteils 26 koordiniert, wobei die Pulverstrahlbreite quer zur Bildebene von Figur 3 in etwa der Breite des Energiestrahls 23 entspricht (ebenfalls gemessen in Querrichtung zur Bildebene).

Man erkennt aus Figur 3, wie die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Pulvermenge in der Erwärmungsfront aufgeschmolzen und in das Schmelzbad eingetaucht wird. Versuche haben ergeben, daß bei einer Wellenlänge von 780 bis 940 nm der Energiestrahle optimiert einkoppelt, so daß das Pulver schnell aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung in das Schmelzbad eindiffundiert wird.

Wie die Pfeile 28 in Figur 3 andeuten, tritt eine Konvektion in der Lösungszone auf, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird. Dies wird ermöglicht durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^5$  W/cm<sup>2</sup>. An Schliffbildern ist zu erkennen, daß das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad nur dann gleichmäßig verteilt ist, wenn der Linienfokus ausreichend lange auf die Lösungszone eingewirkt hat. Die genauen Werte lassen sich im Versuch ermitteln.



Das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial wird dann in der Erstarrungszone 22 einer gerichteten Erstarrung mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit in der Erstarrungsfront von 200 bis 600 K/sec unterworfen, wobei die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 500 und 5000 mm/min beträgt. In einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Pulver im Gasstrom auf die Bauteiloberfläche befördert, so daß durch die kinetische Energie bereits eine bestimmte Pulvermenge in die Aufschmelzzone eindringen kann.

Weitere Versuche haben ergeben, daß der Energiestrahle in bevorzugter Weise vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in der Erwärmungs- und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird. Mit diesem Verfahren läßt sich die Gefügeausbildung gezielt steuern.

Eine weitere Gefügesteuerung ist dadurch möglich, daß der Energiestrahle in der Erstarrungsfront mit einer spezifischen Leistung von  $< 1 \text{ KW/cm}^2$  intermittierend auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Einwirkungszeit des Energiestrahlens im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder intermetallischen Phasen zwischen 0,02 und 1 Sekunde liegt.

Die genannten Anforderungen werden durch einen Diodenlaser von  $> 3 \text{ KW}$  erfüllt, der eine einstellbare Linienfokus-Breite aufweist. Hiermit kann vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahle in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert werden. In analoger Weise ist auch die Pulvermenge steuerbar, so daß bei einer flächigen Behandlung nur geringe Überschneidungen der zugeführten Pulvermenge bzw. der eingestrahlten Energie festgestellt wurden.

Sofern das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist, sollte es bevorzugt in Wannenlage um den Energiestrahle rotieren, so daß

der Energiestrahle, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubrichtung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

Zur Durchführung des Verfahrens wurden Vorrichtungen entwickelt, die für großtechnische Bearbeitungen von Werkstücken und Bauteilen geeignet sind. Dazu besteht die Vorrichtung aus einer Werkstückspannvorrichtung, auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird. Auf die Bearbeitungsflächen werden in Zylinderachse-Richtung Energiestrahleinrichtungen eingefahren und mit einem fokussierbaren Strahlkopf und einer Pulverzuführung auf die Bearbeitungsfläche gerichtet. Es hat sich als besonders günstig erwiesen, daß der Energiestrahle in das Werkstück einfahrbar ist und auf der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahle als Linienfokus senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.

Wenn mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, sollte die Energiestrahleinheit die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen. Dabei ergibt sich eine flächige Einlegierungszone, die je nach Begrenzungseinrichtung der Vorrichtung und/oder Drehbewegung des Bauteiles dimensioniert werden kann.

Vorteilhafterweise überstreichen die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig. Dadurch werden die Bearbeitungszeiten verkürzt und die behandelten Oberflächen gleichmäßigen sich.

Zur Durchführung im großtechnischen Maßstab wurde eine Energiestrahleinrichtung entwickelt, die bezogen auf die Drehrichtung des Bauteils ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer

Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist. Der Energiestrahle ist aus dem Energiestrahlkopf im rechten Winkel auf die Werkstückoberfläche gerichtet, während die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben dem Energiestrahle angeordnet ist. Die Pulverzuführung kann stechend oder schleppend erfolgen, d.h. in Vorschubrichtung gesehen vor dem Energiestrahle oder hinter dem Energiestrahle angeordnet sein. Es ist auch möglich, daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandten Oberflächen entweder geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt werden.

Für die Herstellung von wendelförmigen oder anderen geometrischen Führungen des Linienfokusses sollte die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglichen. Dabei kann die Vorschubrichtung der Energiestrahlvorrichtung und der Pulverzuführung in Rotationsachsrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert werden.

Mit dem beschriebenen Verfahren sind oberflächenlegierte, zylindrische oder teilzylindrische Bauteile herstellbar. Sie bestehen aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (Übersättigungszone) vor, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Besonders günstige Verhältnisse lassen sich erreichen, wenn die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu untereutektisch ist und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsiliziumphasen kleiner  $1\ \mu$  vorliegt, während in der Ausscheidungszone Primärsiliziumphasen von 2 bis  $20\ \mu$  vorliegen. Dann lassen sich Härteanstiege bis zur Bauteiloberfläche von mindestens 200 % erreichen.

Das Schichtdickenverhältnis in einem erfindungsgemäßen Bauteil beträgt zwischen Ausscheidungszone und Übergangszone mehr als 2 : 1, gemessen von der Oberfläche des Bauteils in Richtung Aluminiummatrix. Es lassen sich dabei Härteanstiege zwischen der Matrix und der Bauteiloberfläche im Bereich von 1 : 1,5 : 2 bis 1 : 2 : 3 erreichen.

---

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches  
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

---

Bezugszeichenliste

1	Aluminiummatrix
2	Übergangszone
3	Ausscheidungszone
4	Bauteiloberfläche
5-19	-
20	Aufschmelzfront
21	Lösungs- bzw. Umschmelzzone
22	Erstarrungsfront
23	Energiestrahle
24	Pulvermenge, Pulver
25	-
26	Bauteil
27	Vorschubbewegung
28	Pfeile

---

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

---

Patentansprüche

1. Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, bestehend aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen,

dadurch gekennzeichnet,

daß zwischen Matrix und Ausscheidungszone eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (im folgenden: Übergangszone) vorliegt und der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt.

2. Bauteil nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu untereutektisch ist und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsiliziumphasen  $< 1 \mu$  vorliegt, während in der Ausscheidungszone Primärsiliziumphasen von 2 - 20  $\mu$  vorliegen, wobei der Härteanstieg bis zur Bauteiloberfläche mindestens 200 % beträgt.

3. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Schichtdickenverhältnis gemessen von der Oberfläche des Bauteils in Richtung Aluminiummatrix zwischen Ausscheidungszone und Übergangszone größer 2 : 1 ist.

4. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Härteanstieg zwischen der Matrix und der Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt, wobei der Härteanstieg in der Matrix, in der Übergangszone und im Ausscheidungsbe-  
reich sich verhält wie 1 : 1,5 : 2 bis 1 : 2 : 3 und die Endhärte auf der Bauteiloberfläche bei über 200 HV liegt.

5. Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahle mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß

- a) in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird,

- b) seitlich vom Energiestrahle eine Si-Pulvermenge oder Hartstoffpulvermenge in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht,
- c) die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Si-Pulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahle mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eindiffundiert wird,
- d) durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^5 \text{ W/cm}^2$  eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird,
- e) wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist,
- f) das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 5000 mm/min.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

daß die im Verfahrensschritt b) zugesetzten Hartstoff- oder Pulvermengen im Gasstrom zur Bauteiloberfläche befördert werden.



7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahл vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in die Erwärmungszone und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahл in der Erstarrungsfront (zur Steuerung des Ausscheidungsgefüges) mit einer spezifischen Leistung von  $< 1 \text{ KW/cm}^2$  intermittierend auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder intermetallischen Phasen zwischen 0,02 und 1 Sekunde beträgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß als Energiestrahл ein Diodenlaser von  $> 3 \text{ KW}$  mit einer einstellbaren Linienfokus-Breite verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahle und die Pulvermenge in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist und während der Beschichtung in Wannenlage um den Energiestrahle rotiert, wobei der Energiestrahle, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubbewegung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß am Beginn des Einlegierens der Energiestrahle punktförmig ausgebildet ist und sich zusammen mit der Pulvermenge kontinuierlich vergrößert, bis er nach einer Umdrehung des Werkstücks die volle Linienfokus-Breite erreicht hat.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß bei Beendigung der Einlegierung während des letzten Umlaufs des Werkstücks die Linienfokus-Breite und die Pulvermenge kontinuierlich auf Null reduziert werden.

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung, auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf die ein fokussierbarer Strahlkopf und eine Pulverzuführung gerichtet ist,

gekennzeichnet durch eine in Zylinderachse eingefahrene Energiestrahleinrichtung, die auf der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahlel als Linienfokus senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

daß mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, wobei die Energiestrahleinheiten die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen.

17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig überstreichen.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinrichtung bezogen auf die Drehrichtung ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebs-

einheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahle aus dem Energiestrahlkopf im rechten Winkel auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist,

daß die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben der Energiestrahleinrichtung angeordnet ist und eine stechende oder schleppende Pulverzuführung vorgesehen ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandte Oberfläche entweder geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt wird.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglicht, wobei die Vorschubrichtung der Energiestrahlvorrichtung und der Pulverzufuhr in Rotationsachse mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert wird, um wendelförmige oder andere geometrische Führungen des Linienfokus auf der Werkstückoberfläche zu erreichen.

---

## Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

---

### Zusammenfassung

Ein oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil besteht aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Zur Herstellung eines derartigen Bauteiles wird ein Energiestrahle mit einer linienförmigen Strahlfläche auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt, wobei in der Auftreffzone des Energiestrahlens ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird, seitlich vom Energiestrahle eine Si-Pulvermenge oder Hartstoffpulvermenge in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht, die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Si-Pulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahle mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eindiffundiert wird, durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^5 \text{ W/cm}^2$  eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone

beschleunigt wird, wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist, das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 5000 mm/min.

Figur 2

Fig. 1

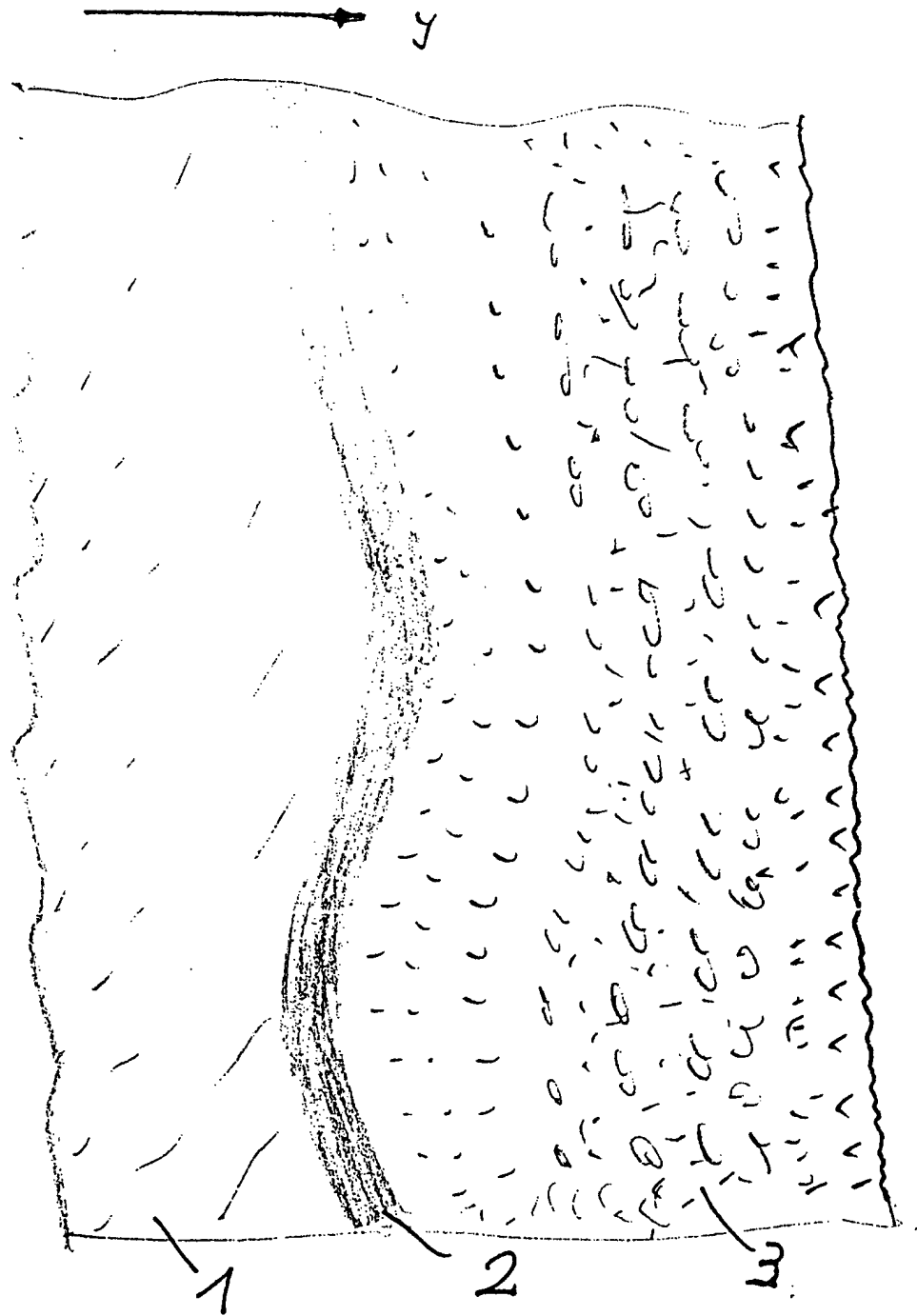


Fig. 2

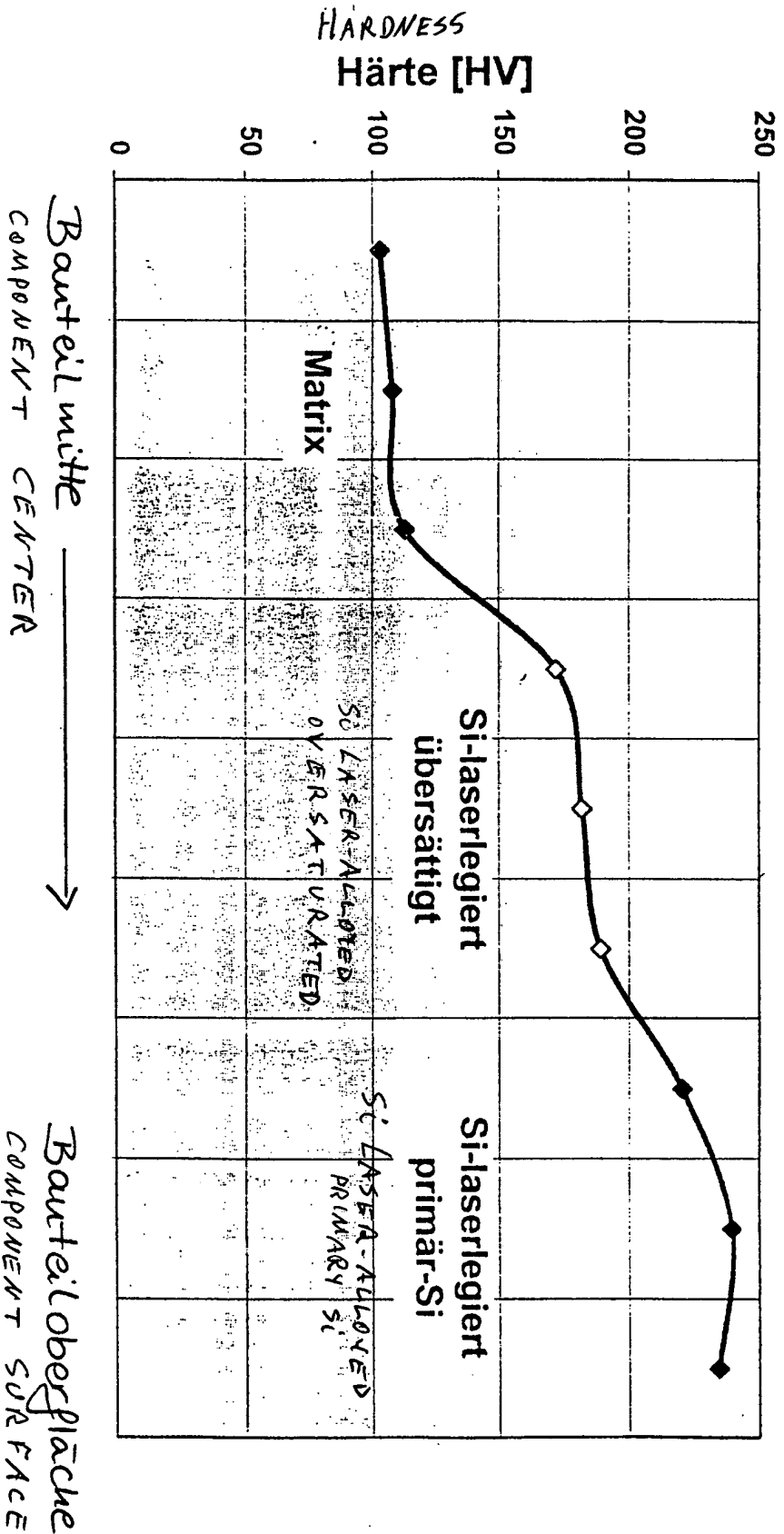




Fig. 3

